



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 100 18 810 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 03 F 9/00**

②1 Aktenzeichen: 100 18 810.9  
②2 Anmeldetag: 15. 4. 2000  
④3 Offenlegungstag: 25. 10. 2001

DE 100 18 810 A 1

⑦1 Anmelder:

Eckert, Werner, Dr., 90552 Röthenbach, DE; Gruber,  
Matthias, 58093 Hagen, DE; Hagedorn, Detlev,  
58644 Iserlohn, DE

⑦2 Erfinder:

gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Ausrichtung fotolithografischer Masken relativ zu Wafern

⑤7 Beschrieben wird ein optisches Verfahren für die Mikro-  
systemtechnik, mit dem fotolithografische Masken zur  
Strukturierung der Oberfläche eines Wafers hochpräzise  
relativ zu bereits existierenden Strukturen auf dem Wafer  
ausgerichtet werden können, insbesondere zu solchen,  
die sich auf der gegenüberliegenden Waferoberfläche be-  
finden. Das Verfahren basiert auf der Abbildung von auf  
der Maske befindlichen Justiermarken auf sich selbst mit  
Hilfe von Mikrolinsen auf oder in dem Wafer. Es kann bei  
allen Wellenlängen angewandt werden, für die das Wafer-  
material hinreichend transparent ist. Das Verfahren ist  
methodisch einfach und direkt. Dies schließt eine Vielzahl  
möglicher Fehlerquellen von vorn herein aus und erlaubt  
eine kostengünstige Realisierung.

DE 100 18 810 A 1

## Beschreibung

[0001] Auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik werden aus optischen, elektronischen und mechanischen Komponenten inmer komplexere integrierte Systeme entworfen. Bei deren Herstellung spielen die für die integrierte Elektronik entwickelten planaren fotolithografischen Strukturierungsverfahren eine entscheidende Rolle. Eine wichtige Aufgabenstellung besteht darin, auf beiden Seiten eines planaren Substrats, das fortan Wafer genannt wird, Mikrostrukturierungen vorzunehmen, wobei die Strukturen beidseitig präzise, teilweise auf Mikrometerbruchteile genau, zueinander ausgerichtet sein müssen.

[0002] Bei kommerziellen Mask-Alignern wird dies üblicherweise durch ein indirektes zweistufiges Verfahren, etwa wie im Patent EP 0556669 beschrieben, erreicht: Die zu strukturierende Wafervorderseite, mit der die Maske beim Kontakt- bzw. Proximitykopieren in direkten bzw. beinahe Kontakt gebracht wird, bzw. auf die die Maskenstrukturen beim Projektionskopieren optisch abgebildet werden, und die bereits strukturierte Waferrückseite werden getrennt mikroskopisch beobachtet und die beiden Bilder überlagert. So können Strukturen auf der Maske im einen Bild relativ zu Strukturen auf der Waferrückseite im anderen Bild ausgerichtet werden. Zuvor muß man dabei allerdings den Mask-Aligner so kalibrieren, dass die Koordinatensysteme der beiden überlagerten Bildebenen bei senkrechter Projektion exakt übereinstimmen.

[0003] So ein zweistufiges Verfahren ist mit fundamentalen Nachteilen behaftet. Um nämlich eine Positioniergenauigkeit im Submikrometerbereich gewährleisten zu können, müssen Mechanik und Optik des Mask-Aligners höchsten Anforderungen hinsichtlich Präzision und Stabilität des kalibrierten Zustands genügen. Die erforderliche Ausrüstung ist daher relativ komplex und teuer. Dies schlägt besonders bei Laborgeräten zu Buche, die für niedrigen Waferdurchsatz konzipiert sind und daher das verfahrenstechnisch langsamere aber deutlich preisgünstigere Kontakt- oder Proximitykopiervorgehen verwenden, welches keine teure Projektionsoptik erfordert. Im Gegensatz dazu ist eine Ausrichtung von Masken relativ zu Strukturen auf der Wafervorderseite vergleichsweise einfach und preisgünstig zu realisieren, denn dafür reicht eine einzige Beobachtungsebene aus, so dass bei dem verwendeten Mask-Aligner eine komplexe Ausrüstung und ein Kalibrierschritt überflüssig sind.

[0004] Von großem Interesse sind für die Mikrosystemtechnik daher Verfahren, die in ähnlich einfacher und direkter Weise ein Rückseiten-Alignment ermöglichen. Zur Lösung dieser Aufgabenstellung, die auch dem Verfahren im Patentanspruch 1 zugrunde liegt, existiert bereits ein optischer Verfahrensansatz. Eine mögliche Ausführung ist im US-Patent 4311389 beschrieben. Sie basiert auf dem Prinzip, mittels spezieller Strukturen auf der Maske einen kollimierten Strahl auf die Waferrückseite zu fokussieren, wo er bei perfekter Ausrichtung von Maske und Wafer auf reflektierende Zielmarken trifft. Dies ist dann direkt detektierbar. Die Methode hat jedoch den entscheidenden Nachteil, dass eine definierte (meist senkrechte) Einfallsrichtung des kollimierten Strahls auf die Maske genau eingehalten werden muß. Abweichungen führen unmittelbar zu fehlerhafter Ausrichtung von Maske und Wafer.

[0005] Bei dem im Patentanspruch 1 allgemein definierten Verfahren ist dies nicht der Fall. Variationen des zum Ausrichten von Maske und Wafer eingekoppelten Strahlenbündels haben bis zu einem gewissen Grad keinen Einfluß auf die Ausrichtung. Dadurch ist das Verfahren deutlich weniger fehleranfällig als die existierenden Verfahren und sehr einfach und kostengünstig zu implementieren. Im Patentan-

spruch 2 wird das Verfahren für ein Rückseiten-Alignment in Verbindung mit einem für Kontakt- bzw. Proximitykopieren ausgelegten Mask-Aligner angewandt.

[0006] Das im Patentanspruch 1 allgemein definierte Verfahren ist direkt und operiert mit einer einzigen Beobachtungsebene. In der Ausführung des Patentanspruchs 2 wird dies erreicht, wie in Abb. 1 skizziert, durch die optische Abbildung der auf der Lithografiemaske befindlichen Justiermarken durch den Wafer hindurch auf sich selbst mit Hilfe von reflektierenden Mikrolinsen, die bei der Strukturierung der Rückseite des Wafers mit generiert wurden. Die relative Lage und Orientierung einer Justiermarke und ihres Bildes ist dabei punktsymmetrisch zur optischen Achse der abbildenden Mikrolinse.

[0007] Dieser Umstand wird für das Ausrichten genutzt. Liegt das Zentrum einer Justiermarke exakt auf der optischen Achse, dann gilt dies auch für ihr Bild; dieser Zustand stellt perfektes Alignment dar und ist durch die Verwendung geeigneter Justiermarken gut detektierbar, wie in Abb. 3, wo das punktsymmetrische Bild der Marke genau in die Lücken der Originalstruktur fällt. Ist die Marke gegenüber der optischen Achse verschoben, dann ist ihr Bild um die gleiche Entfernung punktsymmetrisch zur Achse verschoben. Der Abstand zwischen der Marke und ihrem Bild ist somit doppelt so groß wie die relative Verschiebung der Strukturen auf beiden Waferseiten. Alignmentfehler lassen sich also mit doppelter Empfindlichkeit detektieren.

[0008] Da die Mikrolinsen auf der Waferrückseite im Rahmen der Strukturierung dieser Seite mit generiert werden können, verursachen diese Linsen normalerweise keinen zusätzlichen Herstellungsaufwand. Durch Implementierung in Form diffraktiver Fresnellinsen lassen sich extrem geringe Spezifikationstoleranzen gewährleisten. Beispielsweise lässt sich die Brennweite exakt auf die halbe Waferdicke einstellen, so dass eine Justiermarke und ihr Bild auf der Wafervorderseite in genau der gleichen Ebene liegen, wenn die Maske mit dem Wafer in Kontakt ist. Durch perfekte Symmetrie und Zentrierung der Ringe der Fresnellinsen ist darüberhinaus leicht sicherzustellen, dass deren optische Achsen genau orthogonal zur (rückseitigen) Waferoberfläche verlaufen.

[0009] Da die optischen Parameter diffraktiver Fresnellinsen stark wellenlängenabhängig sind, wird (näherungsweise) monochromatisches Licht verwendet, was bestmöglichen Kontrast in der Beobachtungsebene gewährleistet. Bei der im Patentanspruch 3 beschriebenen Beleuchtungsvorrichtung für das Rückseitenalignment gemäß Patentanspruch 2 dient dazu ein Laser (vgl. Abb. 2). Das durch die Kohärenz des Lasers verursachte Specklerauschen wird weggemittelt durch Einfügen eines spatialen Zufalls-Phasenmodulators, welcher in Form einer rotierenden Mattscheibe realisiert ist.

[0010] Zu der im Patentanspruch 2 beschriebenen Ausführung und der dortigen Anwendung sind eine Reihe von Alternativen denkbar; einige davon sind unter Punkt 4 der Patentansprüche konkret aufgeführt. Gemeinsam sind allen Alternativen die im Patentanspruch 1 aufgelisteten Verfahrensgrundprinzipien, insbesondere, dass zum optimalen Ausrichten nur eine Beobachtungsebene benötigt wird und dass die Amplituden- und Phasenverteilung des einfallenden Lichts und damit insbesondere dessen Richtung bis zu einem gewissen Grad keinen Einfluss auf den zu beobachtenden Effekt hat, somit also keinen Alignmentfehler induzieren kann.

Abb. 1

[0011] Dargestellt ist eine fotolithografische Maske (1) im beinahe Kontakt mit der zu strukturierenden Vorderseite eines Wafers (2) sowie die beiden kartesischen Koordinatensysteme (21) und (22) des Masken- bzw. des Wafersystems gemäß der Definition unter Patentanspruch 1. Gemäß der Ausführung von Patentanspruch 2 ist das Zentrum der Justiermarke (4) gegenüber der als Referenzmarke fungierenden Fresnellinse (3) auszurichten, und zwar so, dass die Justiermarke genau an der Position (6) liegt, wo die optische Achse (5) der Fresnellinse die strukturierte Maskenseite durchstößt. In diesem Fall perfekter Ausrichtung wird die Justiermarke (4) auf sich selbst abgebildet, was durch den Strahlengang (7) symbolisiert wird. Im Falle einer lateralen Verschiebung der Maske kommt die Justiermarke (4) auf eine Position (8) außerhalb der optischen Achse (5) zu liegen und die Linse (3) erzeugt ein Bild an Position (11) punktsymmetrisch zur optischen Achse, was durch die Strahlengänge (9) und (10) symbolisiert wird.

Abb. 2

[0012] Es ist prinzipiell dargestellt, wie ein konventioneller Mask-Aligner (20) mit Hilfe des Verfahrens und der Ausführung der Patentansprüche 1 und 2 sowie mit Hilfe der Beleuchtungsvorrichtung (40) von Patentanspruch 3 für ein Rückseitenalignment aufgerüstet werden kann. Im Mask-Aligner (20) befinden sich eine Maske (1) und ein Wafer (2) in Kontakt. Die Ebene der sich berührenden Oberflächen wird mittels eines Mikroskopobjektivs (21), einer CCD-Kamera (23) und eines Monitors (50) beobachtet. Über den Strahlteiler (22) wird das Beobachtungsfeld beleuchtet, und zwar mittels eines Lichtwellenleiterbündels (30), das an einer dafür vorgesehenen Verbindungsstelle (24) befestigt ist und normalerweise mit Licht einer thermischen Lichtquelle gespeist wird. Hier wird stattdessen die Beleuchtungsvorrichtung (40) verwendet, die im wesentlichen aus einem Laser (41), einer Aufweitungsoptik (42) und (43) und einer rotierenden Mattscheibe (44) besteht. Das damit erzeugte und manipulierte Licht wird in das Lichtwellenleiterbündel (30) eingekoppelt.

Abb. 3

[0013] Dargestellt sind zwei Aufnahmen der Beobachtungsebene gemäß der Ausführung von Patentanspruch 2, die den Zustand fehlerhafter (1) bzw. perfekter (2) Ausrichtung von Maske und Wafer illustrieren. Zu erkennen sind jeweils die Justiermarke auf der Maske (3) und ihr Bild (4) als dunkler Schatten. Position (5) stellt den Durchstoßpunkt der optischen Achse des Abbildungssystems auf der Waferrückseite durch die Beobachtungsebene dar.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ausrichten fotolithografischer Masken gegenüber zu bearbeitenden planaren Substraten (Wafers), derart, dass die z-Achse eines kartesischen Koordinatensystems, fortan Maskensystem genannt, dessen genaue Lage durch Justiermarken auf der Maske definiert wird und dessen x- und y-Achse die Ebene der strukturierten Maskenoberfläche aufspannen, durch laterale Verschiebung in x und/oder y mit der z-Achse eines zweiten kartesischen Koordinatensystems, fortan Wafersystem genannt, zur Deckung

kommt, dessen genaue Lage durch Referenzmarken auf oder in dem zu bearbeitenden Wafer definiert wird und dessen x- und y-Achse eine zur x-y-Ebene des Maskensystems parallele Ebene aufspannen, **dadurch gekennzeichnet,**

- dass der Abstand der z-Achsen von Maskensystem und Wafersystem, der ein Maß für die Ausrichtung beider Systeme darstellt, durch Beobachtung eines optischen Effekts in einer einzigen zu den z-Achsen orthogonalen Beobachtungsebene optimal ermittelt werden kann,
- dass dieser optische Effekt durch Wechselwirkung von eingestrahlttem Licht mit den Justiermarken auf der Maske und den Referenzmarken auf oder in dem Wafer hervorgerufen wird,
- dass dieser optische Effekt von der spatialen Phasen- und Amplitudenverteilung des eingestrahltten Lichts in weiten Grenzen unabhängig ist.

2. Ausführung des unter Anspruch 1 benannten Verfahrens, dadurch gekennzeichnet,

- dass sie zur Ausrichtung einer fotolithografischen Maske, mit der die Vorderseite eines Wafers durch Kontakt- oder Proximity-Kopieren strukturiert werden soll, relativ zu Strukturen auf der Rückseite dieses Wafers dient,
- dass reflektierende diffraktive Mikro-Fresnellinsen, die bei der vorausgegangenen Strukturierung der Waferrückseite mit erzeugt wurden, als Referenzmarken im Sinne des Verfahrens von Anspruch 1 fungieren,
- dass fadenkreuzartige Strukturen, deren um 180 Grad um ihr Zentrum gedrehte Versionen spezielle Lücken in den Originalversionen ausfüllen, als Justiermarken im Sinne des Verfahrens von Anspruch 1 fungieren,
- dass der im Sinne des Verfahrens von Anspruch 1 benannte optische Effekt in einer Abbildung der Justiermarken mittels der Referenzmarken durch den Wafer hindurch zurück in die x-y-Ebene des Maskensystems besteht, wobei die Beobachtung in dieser Ebene erfolgt,
- dass die Brennweiten der als Referenzmarken im Sinne des Verfahrens von Anspruch 1 fungierenden Fresnellinsen so gewählt sind, daß die x-y-Ebene des Maskensystems gleichzeitig Objekt- und Bildebene der im vorausgehenden Unterpunkt genannten Abbildung ist,
- dass bei perfekter Ausrichtung von Maske und Wafer die Justiermarken punktsymmetrisch auf sich selbst abgebildet werden und daß eine laterale Verschiebung von Maskensystem oder Wafersystem entlang x und/oder y aus dieser Lage mit doppelter Empfindlichkeit beobachtet werden kann,
- dass durch Verwendung von (näherungsweise) monochromatischem Licht, dessen Wellenlänge mit der Designwellenlänge für die diffraktiven Mikro-Fresnellinsen identisch ist, für dessen Wellenlänge das Wafermaterial zur Durchführung der hier beschriebenen Anwendung hinreichend transparent ist und das (näherungsweise) spatial inkohärent ist, eine gut beobachtbare specklefreie optische Abbildung mit hoher Bildschärfe und hohem Kontrast erzielt wird.

3. Beleuchtungsvorrichtung für die unter Anspruch 2 benannte Ausführung, dadurch gekennzeichnet,

- dass sie es ermöglicht, handelsübliche Mask-Aligner, die bauartbedingt nur für ein Vordersei-

ten-Alignment ausgelegt sind, wobei darunter ein Ausrichten der zur Strukturierung der Wafervorderseite verwendeten Maske relativ zur Struktur auf eben dieser Wafervorderseite zu verstehen ist, aufzurüsten für ein Rückseiten-Alignment gemäß der unter Anspruch 2 benannten Ausführung, 5

- dass der Forderung nach monochromatischem Licht gemäß der Ausführung unter Anspruch 2 durch Verwendung eines Lasers mit einer Wellenlänge, für die das jeweilige Wafermaterial hinreichend transparent ist, Rechnung getragen wird, 10
- dass die gemäß der Ausführung unter Anspruch 2 geforderte Inkohärenz des eingestrahnten Lichts durch eine Zufalls-Phasenmodulation des Laserstrahls mittels einer rotierenden Mattscheibe erreicht wird, 15
- dass das so entstehende Licht über Lichtwellenleiterbündel in die Beleuchtungs-/Beobachtungsoptik eines handelsüblichen Mask-Aligners gemäß Unterpunkt 1 eingekoppelt wird. 20

4. Modifikationen der unter Anspruch 2 benannten Ausführung und der unter Anspruch 3 benannten Beleuchtungsvorrichtung, dadurch gekennzeichnet, 25

- dass die Strukturierung des Wafers bei der Ausführung unter Anspruch 2 alternativ zur Kontakt- oder Proximitykopiermethode auch mittels der Projektionsmethode erfolgen kann, wobei dann die in eine Ebene auf oder in dem Wafer projizierten Maskenstrukturen mittels der Referenzmarken in die besagte Ebene zurück abgebildet werden und die Beobachtung ebenfalls in dieser Ebene erfolgt, 30
- dass die Ausführung unter Anspruch 2 alternativ zum Rückseitenalignment auch ein Vorderseitenalignment gemäß der Definition unter Anspruch 3 zum Ziel haben kann, 35
- dass als Justiermarken im Sinne des Verfahrens von Anspruch 1 alternativ zu den fadenkreuzartigen Strukturen der Ausführung von Anspruch 2 beliebige andere geometrische Strukturen verwendet werden können, die mit ihren Bildern gut ausrichtbar sind, etwa (unterbrochene) Ringe oder Gitter, 40
- dass als Referenzmarken im Sinne des Verfahrens von Anspruch 1 alternativ zu den diffraktiven Mikro-Fresnellinsen der Ausführung von Anspruch 2 andere reflektierende Abbildungssysteme verwendet werden können, etwa durch Ionenaustausch oder durch Aufschmelzen erzeugte und verspiegelte Mikrolinsen, 45
- dass bei Verwendung achromatischer Abbildungssysteme als Referenzmarken im Sinne des Verfahrens von Anspruch 1 alternativ zur monochromatischen Lichtquelle der Ausführung unter Anspruch 2 eine beliebige Lichtquelle verwendet werden kann, 50
- dass als (näherungsweise) monochromatische Lichtquelle in der Beleuchtungsvorrichtung unter Anspruch 3 alternativ zu einem Laser auch eine entsprechend schmalbandig gefilterte thermische Lichtquelle oder Gasentladungslampe verwendet werden können, 55
- dass bei ausreichend niedriger spatialer Kohärenz der im vorigen Unterpunkt genannten alternativen (näherungsweise) monochromatischen Lichtquellen auf eine Zufalls-Phasenmodulation wie in der Beleuchtungsvorrichtung unter Anspruch 3 verzichtet werden kann, 60
- dass bei ausreichend niedriger spatialer Kohärenz der im vorigen Unterpunkt genannten alternativen (näherungsweise) monochromatischen Lichtquellen auf eine Zufalls-Phasenmodulation wie in der Beleuchtungsvorrichtung unter Anspruch 3 verzichtet werden kann, 65

- dass zur Zufalls-Phasenmodulation in der Beleuchtungsvorrichtung unter Anspruch 3 alternativ zu einer rotierenden Mattscheibe auch andere mechanooptische sowie akusto-, elektro-, magneto- oder flüssigkristalloptische Modulatoren verwendet werden können.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

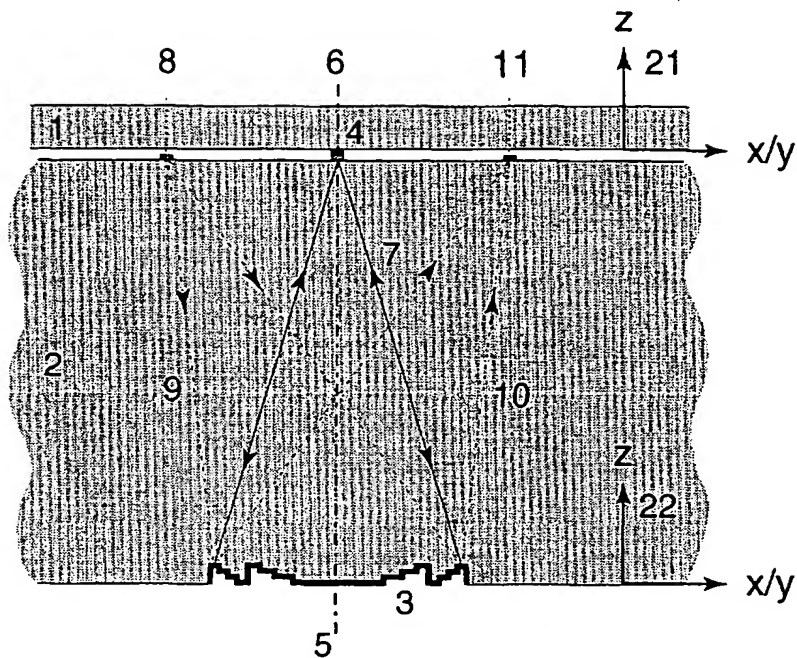


Abbildung 1

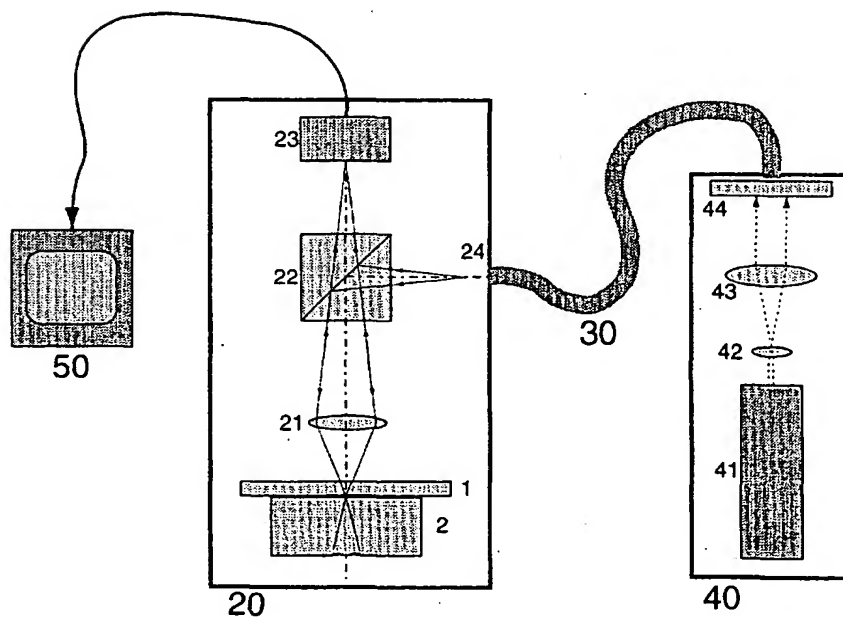


Abbildung 2

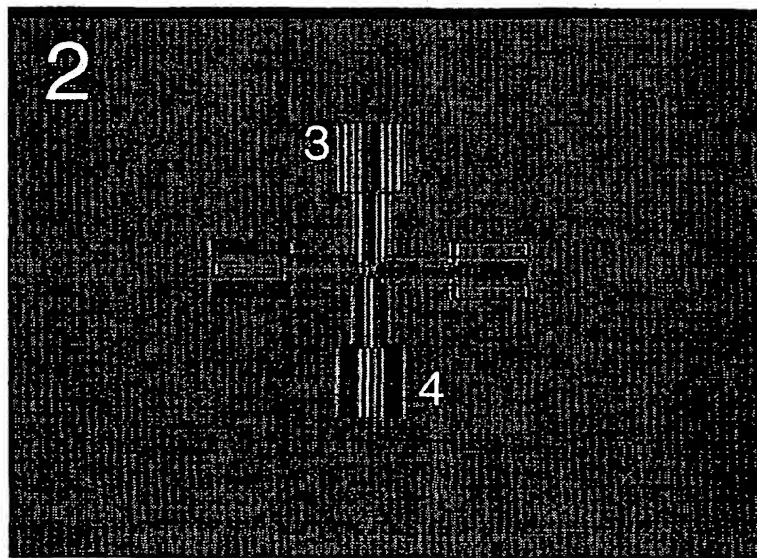
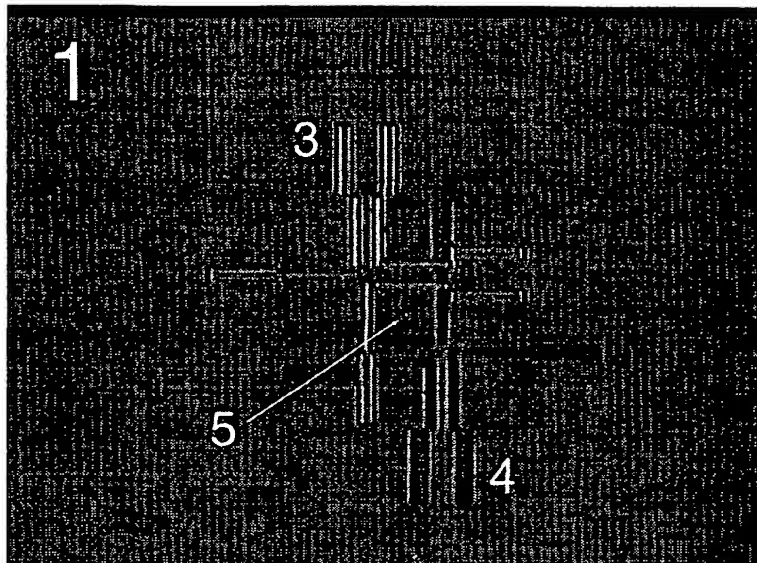


Abbildung 3

BEST AVAILABLE COPY